

論文の内容の要旨

論文題目	Reliable Route Design Schemes in Coding Capable Networks (符号化可能なネットワークにおける高信頼経路設計方式)
学位 申請者	ムクタディル アブ ハナ アル

高信頼な通信はネットワークの故障に対する耐久性を確保し、データの損失を防ぐ。高信頼な通信に対して、いくつかのサービスクラスがある。最も高い信頼度クラスは、故障時に無瞬断で復旧する瞬時復旧を提供する。次の信頼度クラスは、復旧時間を犠牲にして利用するネットワーク資源を抑制しながら故障への耐久性を提供する。

故障復旧を可能にするプロテクション技術は、事前設定プロテクションと動的復旧技術に分類される。プロテクションは、現用パスに対する予備パスを提供することにより実現される。ここで予備パスに必要なネットワーク資源は、他の現用パスと共有されることもある。1+1プロテクションは、事前設定プロテクションの1つであり、独立な経路を有するパスを2重化し、両方のパスに発ノードから着ノードにデータを送信することにより、どちらか一方のパスの故障時において、着ノードのみのパス切り替えのみで、瞬時復旧が実現される。予備リソースを共有することにより、ネットワーク資源を有効利用する従来の復旧技術は、パスの両端の切り替えが必要であるため、瞬時復旧を達成できない。1+1プロテクションは、瞬時復旧ができる利点があるが、現用パスの2倍のネットワーク資源を要するという問題がある。

本研究の目的は、瞬時回復を提供しながら、必要なネットワーク資源を削減する経路設計方式を提供することである。符号化技術は、1+1プロテクションにおいて、瞬時回復を提供しつつ、ネットワーク資源の削減を可能にする。ネットワーク符号化は中継ノードによって、消失訂正符号化は、発ノードによって実行される。

第1章では、本研究の背景、目的、及び、貢献を述べ、本論文の構成を示す。瞬時回復を提供しつつ、ネットワーク資源の削減を可能にする符号化のシナリオとして、MSCD (multiple sources and a common destination)とTS (traffic splitting)の2つのシナリオを導入する。これまで、この2つのシナリオに対して、符号化可能なネットワークにおけるネットワーク資源を最小化する経路設計方式が検討されていなかった。

第2章では、MSCDシナリオの数学的モデルについて論じる。MSCDシナリオでは、異なる複数の発ノードから共通の着ノードに送信されたデータが中継ノードで符号化される。特に、2つの発ノードがある場合のシナリオである2SD (2 sources and a common destination) に対して、符号化可能なネットワークにおいて、瞬時回復を提供する1+1プロテクションに必要なネットワーク資源を最小化する経路を求める最適化問題を整数線形計画法 (ILP: integer linear programming) のモデルとして定式化する。ILPモデルにおいて、小規模なネットワークには適用可能であるが、メモリ・計算時間の制約のため、大規模ネットワークに適用することができない。

第3章では、ILPによるアプローチの問題を解決するために、2SDシナリオにおいて発見的なアルゴリズムを導入する。導入したアルゴリズムを、複数の最適経路設計に適用し、96%のケースにおいて、ILPにより得られる最適解と同等の解が得られることを示す。さらに、2SDシナリオの発見的なアルゴリズムは、ILPと比較して高速に計算可能であることを示す。

第4章では、MSCDシナリオにおける複数の発着ノードがある場合について、発見的アルゴリズムを導入し、その性能について述べる。発着ノードのトラヒックを割り当てるポリシーとして、Largest effective gain first policyを採用する。性能評価の結果、ネットワーク全体として、15%のネットワーク資源を削減することを示す。

第5章では、MSCDシナリオでノード連結度の制約条件の緩和方法について述べる。

第6章では、TSシナリオの数学的モデルについて論じる。TSシナリオでは、発着ノードペアの通信に対して、トラヒックが発ノードで分割され、複数の独立経路上に転送される。特定の1つの独立経路以外の独立経路上に転送されるデータを用いて符号化し、符号化されたデータは、当該特定の独立経路上に転送される。最適経路設計において、繰り返しILP法を導入する。

第7章では、TSシナリオにおいて、複数の経路において遅延が異なる場合の回復方式について論じる。ネットワークの条件、及び、要求条件に対して、最適な経路数があることを示す。

第8章では、TSシナリオにおいて、複数の発着ノードを考慮した発見的アルゴリズムについて述べる。

第9章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。2つのシナリオに対する検討した経路設計方式の性能を比較する。従来の1+1プロテクション方式と比較して、ネットワーク資源をMSCDシナリオは15%、TSシナリオは20%削減することを示した。2つのシナリオの適用性は、ネットワーク特性、特に、ノード連結度に依存する。ネットワーク資源の削減において、TSシナリオがMSCDシナリオより優れているが、発ノード及び着ノードにおいて、大きいノード連結度が要求される。一方、MSCDシナリオは、ネットワーク資源の削減効果がTSシナリオより小さいが、大きいノード連結度が要求されない。

本論文で検討した符号化可能なネットワークにおける高信頼経路設計方式は、瞬時回復を提供しつつ、ネットワーク資源を削減することが定量的に示される。本研究で得られた成果は、将来の高信頼ネットワーク実現に向けて、要素技術となり得る。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 MUKTADIR ABU HENA AL

審査委員主査 大木 英司

委員 來住 直人

委員 山尾 泰

委員 伊藤 大雄

委員 寺田 実

高信頼な通信はネットワークの故障に対する耐久性を確保し、データの損失を防ぐ。高信頼な通信に対して、いくつかのサービスクラスがある。最も高い信頼度クラスは、故障時に無瞬断で復旧する瞬時復旧を提供する。次の信頼度クラスは、復旧時間を犠牲にして利用するネットワーク資源を抑制しながら故障への耐久性を提供する。

故障復旧を可能にするプロテクション技術は、事前設定プロテクションと動的復旧技術に分類される。プロテクションは、現用パスに対する予備パスを提供することにより実現される。ここで予備パスに必要なネットワーク資源は、他の現用パスと共有されることもある。1+1プロテクションは、事前設定プロテクションの1つであり、独立な経路を有するパスを2重化し、両方のパスに発ノードから着ノードにデータを送信することにより、どちらか一方のパスの故障時において、着ノードのみのパス切り替えのみで、瞬時復旧が実現される。予備リソースを共有することにより、ネットワーク資源を有効利用する従来の復旧技術は、パスの両端の切り替えが必要であるため、瞬時復旧を達成できない。1+1プロテクションは、瞬時復旧ができる利点があるが、現用パスの2倍のネットワーク資源を要するという問題がある。

本研究の目的は、瞬時回復を提供しながら、必要なネットワーク資源を削減する経路設計方式を提供することである。符号化技術は、1+1プロテクションにおいて、瞬時回復を提供しつつ、ネットワーク資源の削減を可能にする。ネットワーク符号化は中継ノードによって、消失訂正符号化は、発ノードによって実行される。

第1章では、本研究の背景、目的、及び、貢献を述べ、本論文の構成を示す。瞬時回復を提供しつつ、ネットワーク資源の削減を可能にする符号化のシナリオとして、MSCD (multiple sources and a common destination)とTS (traffic splitting)の2つのシナリオを導入する。これまで、この2つのシナリオに対して、符号化可能なネットワークにおけるネットワーク資源を最小化する経路設計方式が検討されていなかった。

第2章では、MSCDシナリオの数学的モデルについて論じる。MSCDシナリオでは、異なる複数の発ノードから共通の着ノードに送信されたデータが中継ノードで符号化される。特に、2つの発ノードがある場合のシナリオである2SD (2 sources and a common destination) に対して、符号化可能なネットワークにおいて、瞬時回復を提供する1+1プロテクションに必要なネットワーク資源を最小化する経路を求める最適化問題を整数線形計画法 (ILP: integer linear programming) のモデルとして定式化する。ILPモデルにおいて、小規模なネットワークには適用可能であるが、メモリ・計算時間の制約のため、大規模ネットワークに適用することができない。

第3章では、ILPによるアプローチの問題を解決するために、2SDシナリオにおいて発見的なアルゴリズムを導入する。導入したアルゴリズムを、複数の最適経路設計に適用し、96%のケースにおいて、ILPにより得られる最適解と同等の解が得られることを示す。さらに、2SCシナリオの発見的なアルゴリズムは、ILPと比較して高速に計算可能であることを示す。

第4章では、MSCDシナリオにおける複数の発着ノードがある場合について、発見的アルゴリズムを導入し、その性能について述べる。発着ノードのトラヒックを割り当てるポリシーとして、Largest effective gain first policyを採用する。性能評価の結果、ネットワーク全体として、15%のネットワーク資源を削減することを示す。

第5章では、MSCDシナリオでノード連結度の制約条件の緩和方法について述べる。

第6章では、TSシナリオの数学的モデルについて論じる。TSシナリオでは、発着ノードペアの通信に対して、トラヒックが発ノードで分割され、複数の独立経路上に転送される。特定の1つの独立経路以外の独立経路上に転送されるデータを用いて符号化し、符号化されたデータは、当該特定の独立経路上に転送される。最適経路設計において、繰り返しILP法を導入する。

第7章では、TSシナリオにおいて、複数の経路において遅延が異なる場合の回復方式について論じる。ネットワークの条件、及び、要求条件に対して、最適な経路数があることを示す。

第8章では、TSシナリオにおいて、複数の発着ノードを考慮した発見的アルゴリズムについて述べる。

第9章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。2つのシナリオに対する検討した経路設計方式の性能を比較する。従来の1+1プロテクション方式と比較して、ネットワーク資源をMSCDシナリオは15%、TSシナリオは20%削減することを示した。2つのシナリオの適用性は、ネットワーク特性、特に、ノード連結度に依存する。ネットワーク資源の削減において、TSシナリオがMSCDシナリオより優れているが、発ノード及び着ノードにおいて、大きいノード連結度が要求される。一方、MSCDシナリオは、ネットワーク資源の削減効果がTSシナリオより小さいが、大きいノード連結度が要求されない。

本論文で検討した符号化可能なネットワークにおける高信頼経路設計方式は、瞬時回復を提供しつつ、ネットワーク資源を削減することが定量的に示される。本研究で得られた成果は、将来の高信頼ネットワーク実現に向けて、要素技術となり得る。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。